

اندازه‌ها و تناسبات لازم و احکام اجرائی برسند . هر چند که این احکام هیچ وقت عنوان قانون به شکل امروزی برای آنها مطرح نبوده است ولی نشان گر اینست که مسئله تعادل به عنوان رابطه طبیعی میان ماده و جاذبه زمین درک شده بود و معماران گذشته احتمالاً از نزدیکی آجر به آجر و یا سنگ به سنگ در طول قرون به بعضی از رموز و ادراک حسی استاتیک رسیده بودند .

سازندگان یونان قدیم برای پوشاندن فضاها از طرز قرار دادن صحیح سیستم سه سنگی (TIRILITICO) که زمینه مدولاسیون اسکلتی بوده است برای پوشاندن فضاها استفاده می‌کردند . دو تا از سنگها را به عنوان پایه به صورت قائم و سومی را به عنوان پلی رابط به صورت افقی روی آنها قرار می‌دادند . طبیعی است که کمی فاصله ستونها به دلایل احصاسی و تجربی بود . آنان درک کرده بودند که سنگ سوم یا پل رابط در قسمت کشش (به لفظ امروز) خیلی کمتر از قسمت فشاری آن مقاومت می‌کند .

* بحث من نفی مراحل فوق الذکر برای مهندسان ساختمان نیست من هم به آنان نیازمندم و هم با احترام به حرفه آنان که جدا از من نیست نگاه می‌کنم .

مهندس سازه ماده را با دقت هرچه تمام تر با ترازو وزن می‌کند و بعد بالا می‌برد و از تجربیات و فرمولها و قوانین آموخته خود با آن برخورد می‌کند و پس از محاسبات تکراری و ماشینی ، موفق به نگهداشتن آن تحت هر شرایطی می‌شود . او بدین ترتیب به مسئله خود جواب می‌دهد و راضی می‌شود . *

ولی معمار ، یا بهتر بگوییم معمار خوب ، هزاران تن از همان ماده را در یک دست می‌گیرد و با دست دیگر به فضا پرتاب می‌کند و مردم و هر لحظه که تصمیم بگیرد با جابه‌جایی مناسب ، آنها را در فضا ثابت می‌کند تا به بقیه کارها بپردازد . واقعیت دارد !

چگونه باید با چنین انسانی تماس برقرار کرد و چطور باید به او فهماند که جاذبه زمین ... برای هر دو گروه وجود دارد و خود جزئی از این جهان قانونمند است .

برای روشن شدن مطلب گذری کوتاه به روند مسئله در تاریخ ، رابطه میان ما دو گروه را روشن می‌کند .

بیش از اینکه علم ایستایی جنبه‌های علمی به خود بگیرد و قانونمند شود و در بناها مورد استفاده قرار گیرد (تقریباً" اواسط قرن گذشته) ، استادان و معماران برای تجربه و پختگی خود با مشقت فراوان و احتیاط کامل تجارب گذشتگان را تجزیه و تحلیل می‌کردند تا به

آموزش سازه

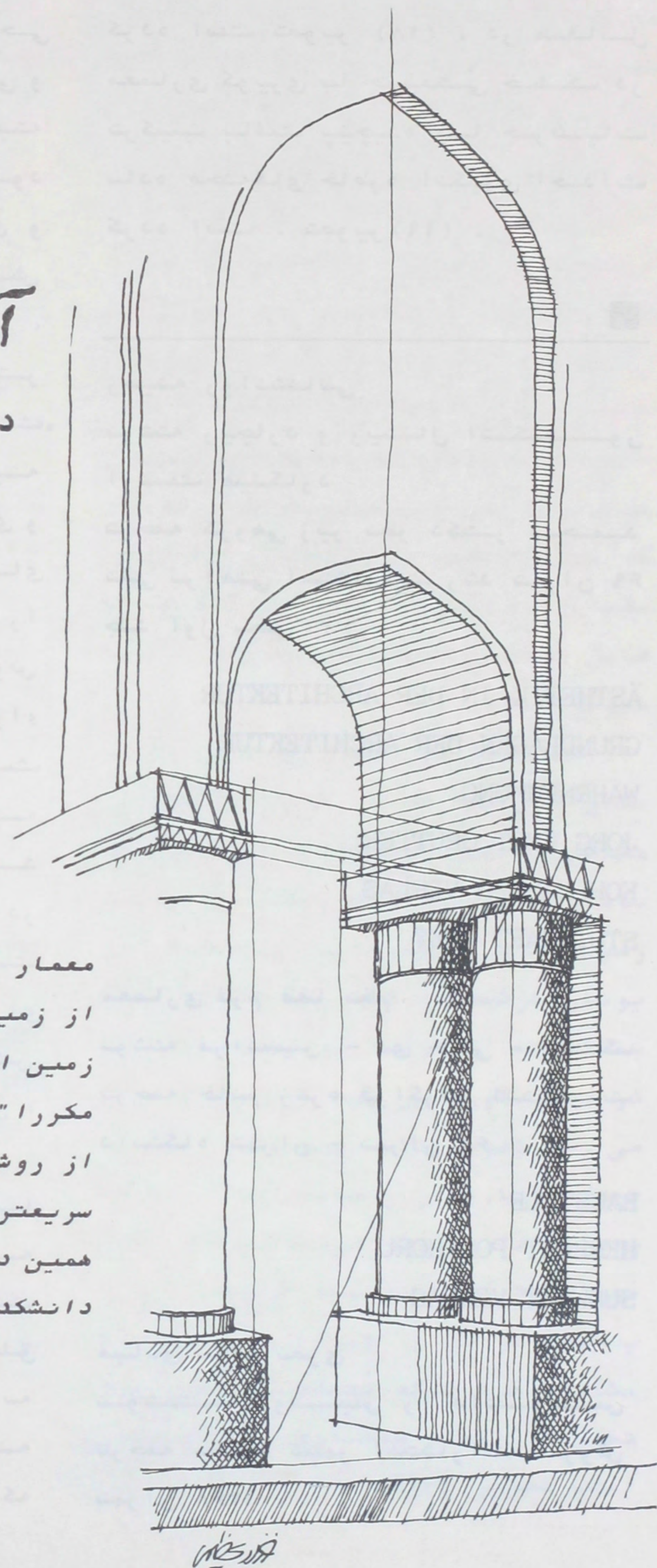
بعضی دروس مشابه که در دانشکده‌های معماری و فنی تدریس می‌شوند دارای بیان مشترکی هستند . استادان این دروس در دانشکده‌های معماری فارغ التحصیلان دانشکده‌های فنی‌اند ، که به همان سبک آموخته شده در دانشکده‌های فنی دانشجویان دانشکده‌های معماری را آموزش می‌دهند . این شیوه برخورد نه اینکه به معمار کمکی نمی‌کند ، بلکه با عمق کمی که مطالب فنی در دانشکده‌های معماری دارند قواعد و فرمولها به دلیل اینکه تکرار نمی‌شوند و مصرف ندارند پس از مدتی به فراموشی سپرده می‌شوند و گاهی هم در دانشجویی که شدیداً به این فن علمی نیاز دارد وازدگی ایجاد می‌کنند . چه باید کرد ؟

تصور کنیم که هر دو مهندس سازه و معمار ، مواد و مصالحی را به منظور ایجاد فضا از زمین بالا می‌برند ، و در ارتفاع معینی طوری ثابت می‌کنند که به زمین برنگردد ، ولی با تفاوت !

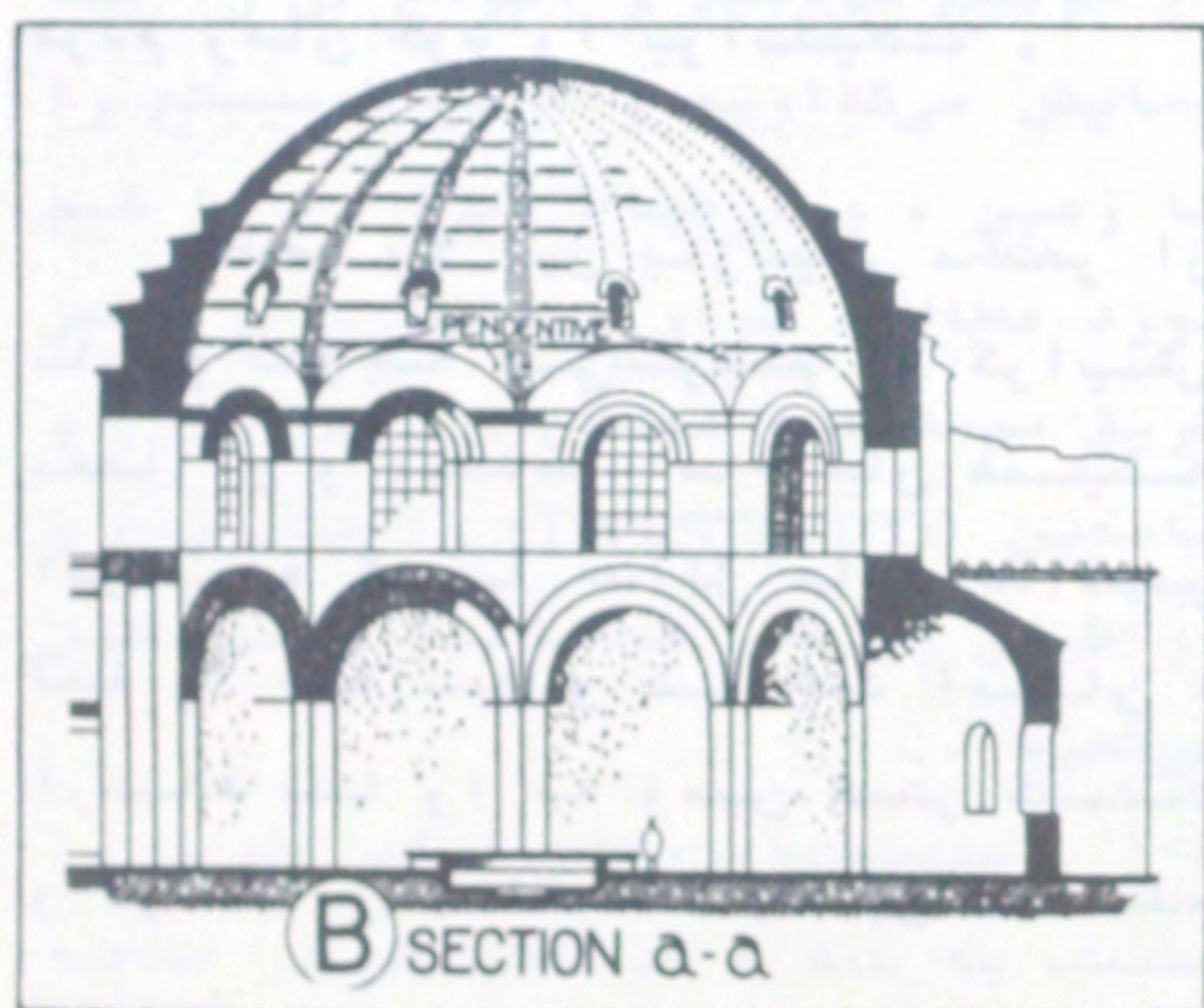
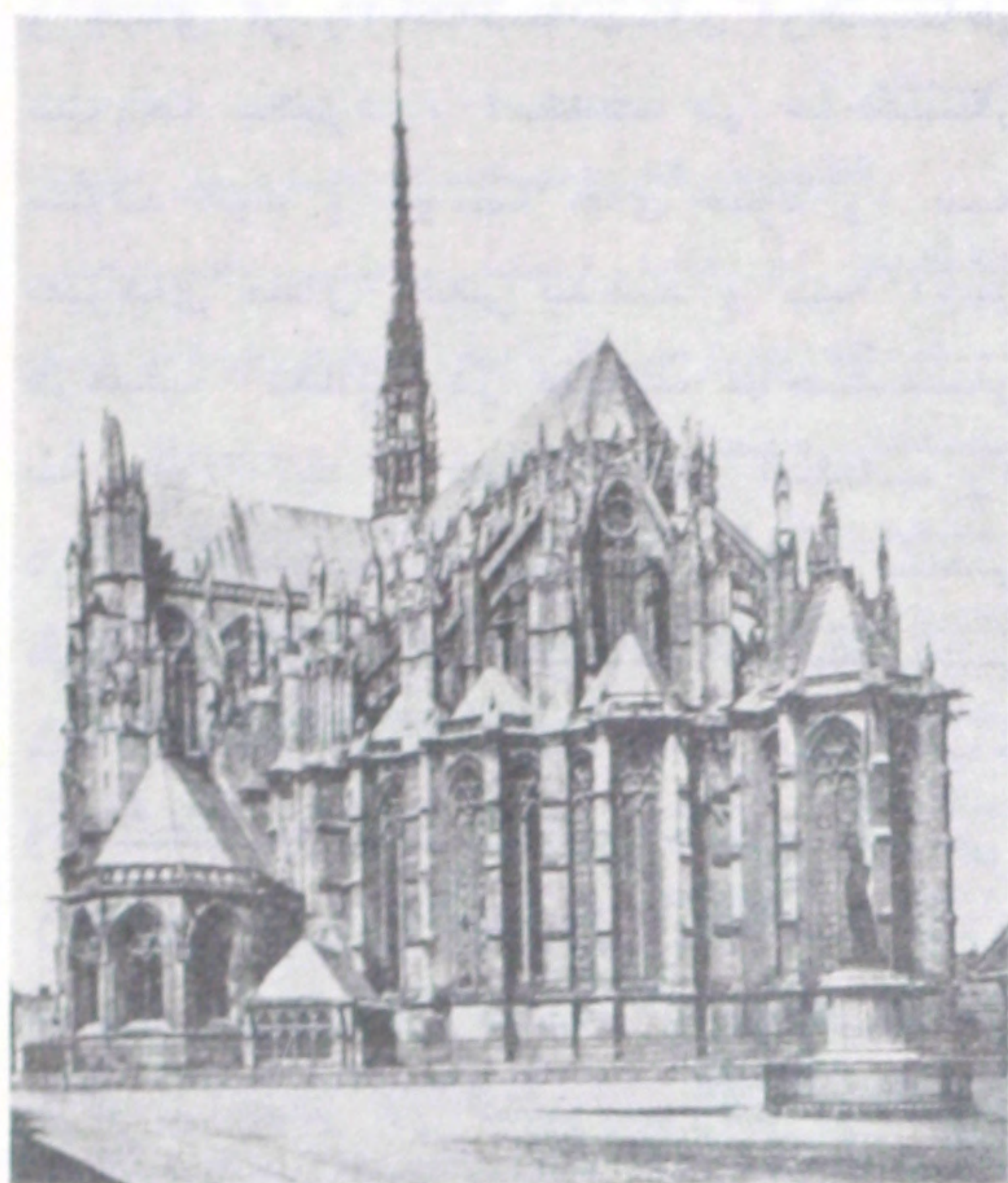
آموزش سازه

دکتر پرویز وزیری

معمار در مسیر طراحی ساختمان ، هر لحظه در ذهن خود هزاران تن مصالح ساختمانی را از زمین بلند میکند و بالای سر می‌برد و با طرح "کانالهای ارتباطی" بار آن را به زمین انتقال می‌دهد . از آنجا که باید این عمل را تا لحظه نیل به طرح مطلوب ، مکررا " و به سرعت انجام داد ، برای طراحی " کانالهای ارتباطی " به جای استفاده از روشهای متکی بر فرمول که معمولا " طولانی و وقتگیر نیز هستند باید از روشهای سریعتری که متکی بر عبرتهای تاریخی و احساس طبیعی انسان است بهره گرفت به همین دلیل آموزش سازه در دانشکده معماری باید متفاوت از تدریس آن در دانشکده فنی باشد .



نوروزی



آن آزمایشگاهها آزمایش روی مواد را به عهده میگیرند ، نتایج حاصله را در اختیار علوم مربوطه میگذارند ، و تجربه‌های قدیم صورت تثوریک و علمی مییابد و اثبات می‌شود . در این موقع است که کاربرد قوسهای سنگی و آجری با وجود توسعه عظیم غروب می‌کنند و جای خود را به قوسهای فلزی می‌دهند .

اولین پل فلزی در سال ۱۷۷۵-۷۹ روی رودخانه سورن (SEVERN) توسط آبراموداربی (ABRAMO DARBY) ساخته شد . اگر چه ماده جدید سرو صدای زیادی ایجاد کرد ولی در اجرای این پل ، مثل قوسهای سنگی ، از قطعات فلزی و با همان تدبیر استفاده شده بود .

لذا مدتی طول کشید که در ساختمان بناها استفاده از دیوار ، گنبد ، قوس به فراموشی سپرده شود

↑
کلیسای آبی یین : (۸۸-۱۲۲۰)

□
کلیسای سن آمبردگیو : میلان (۱۱۲۸ - ۱۰۸۸)

↓
معبد مینروا مدیسی : رم

شود . بدین ترتیب سبک گوتیک به وجود آمد . آنچه از این سیر و تحول نتیجه می‌شود اینکه قوسها برعکس دیوارها ، کانالهایی در فضا ایجاد و نیروهای موجود در صفحات بالا را به زمین منتقل می‌کنند . شکل این کانالها در صفحات بالا توسط معماران طراحی می‌شود ، و معمار با در نظر گرفتن قواعد ترسیم آن در فضا باید مصالح مناسب را انتخاب و صفحات را با ترکیب هم در جهت ایجاد فضای مناسب مورد لزوم هدایت کند .

تا بدینجا می‌توان اظهار داشت که معماران گذشته با احساس و تجربه تشخیص داده بودند که قوسی که از قطعات مختلف سنگ یا آجر تشکیل شده نیروئی به نام نیروی فشاری را مقطع به مقطع از بالا به پایه‌ها و سپس به زمین منتقل می‌کند .

در اواخر قرن هیجدهم و در طول قرن نوزدهم ، علم به طور کلی و علوم ریاضیات و هندسه و علوم ساختمان به طور خاص پیشرفتی سریع داشتند . در اواسط قرن هیجدهم ، استاتیک ترسیمی و تحلیلی به وجود می‌آیند . از این به بعد تکنولوژی ساختمان وضع جدیدی پیدا می‌کند . کارخانه‌های ذوب فلزات موفق به تولید مقاطع مختلفی از آهن می‌شوند که نسبت به ابعاد و وزن و از جنبه اقتصادی جواب مناسبی به امور ساختمانی می‌دهند . همزمان با

امروز به کمک علم ایستایی می‌دانیم که این نیروی کشش در پل رابط از لنگری به وجود می‌آید که متناسب با مجذور فاصله دو ستون است، ولی سازندگان یونان قدیم از طریق تجربه بسیار به این نتیجه رسیده بودند که برای سلامتی بنا باید از تناسبات و اندازه‌ها و قوانین گذشتگان خود استفاده کنند تا به اندازه و مقاومت مصالح روز که در دسترس آنها بود برسند. و بعد در ستونهای "دو ریک" می‌بینیم که چطور طراح روح تحمل بار را با باد کردن قسمتی از ستون به بیننده القا می‌کند و رابطه‌ای میان احساس و بار به وجود می‌آورد.

رابطه‌ای که شاید با دیدن عضلات انسان هنگام ورزش یا جابجایی اجسام و تغییر شکل آنها احساس شده بود *

در معماری دوره رم سیستم یاد شده بالا فراموش می‌شود و قوسها جایگزین آن می‌گردند. کشف این سیستم در سیستمهای ساختمانی گذشته انقلابی به وجود آورد و به ایجاد فضاهای آزاد و بزرگتر کمک کرد، و کم کم با انتخاب تکنیکهای مناسب به فضاهای بزرگ بدون دیوار و در نتیجه به سبکی دیگر دسترسی پیدا شد. اکنون با مقایسه این دو سبک می‌بینیم چطور شناخت سیستم اول و سنگ افقی و خطرات نیروی

کشش در آن که باعث حجیم بودن و سنگینی آن و در نتیجه فاصله کم پایه‌ها یعنی دو سنگ قائم دیگر است سازندگان رمی را هدایت می‌کند که برای پوشش میان دو پایه (پل ارتباطی) می‌توان از شکل هندسی خاصی استفاده کرد به طوری که تمام اجزا آن تحت تاثیر نیروی فشاری قرار گیرد، و از خطرات احتمالی نیروی کشش جلوگیری شود، و با قطعات بسیار کوچکتر و سبک تر همان کار را انجام داد و ساختمان را ارزان تر کرد و به فضاهای جدید مورد نیاز رسید و راه را برای سبکهای دیگر هموار ساخت.

بعد از گذشت چند قرن با پیشرفت و توسعه در اسکلت‌های قوسی سبکهای جدیدی به وجود آمد. برای مثال در کلیسای سانتامبروجو در میلان متعلق به نیمه دوم قرن یازدهم دیوارهای حامل جای خود را به پایه‌ها دادند و قوسها بر آن استوار شدند.

نمونه دیگر کلیسای آمی-ین (AMIENS) (۸۸۰-۱۲۲۰) است که در ساختمان آن پایه قوسها بلندتر و رعنا تر، و نوک قوسها تیز شده تا نیروی رانش به حداقل رسانده

* این پدیده، یعنی تحت فشار قرار دادن مواد و مطالعه رفتار مصالح تحت فشار بعداً "قانونمند و به نام EFFETO POISSON نامیده شد.

↓ پارتنون : آتن (۴۴۷-۴۳۲ قبل از میلاد)



ارتباطی یا کانال نیرویی بر عهده کیست ؟

گفتیم که اسکلت جزئی جدا ناپذیر از فضا است ، پس طبیعی است که طراحی آن به عهده طراح یا مهندس معمار است ، و او پیش از اینکه وارد جزء فضا شود باید این کانالهای ارتباطی را تصور کند و نسبت به ماده انتخاب شده تصمیم بگیرد ، و از این طریق به شکل اولیه استاتیکی نزدیک شود و در نهایت به خلق اثر برسد .

طبیعی است برای رسیدن به این هدف ، بعد از شناخت بارها و نیروها به اصل را باید مورد توجه و مطالعه قرار داد .

۱- توضیح سیستمها

۲- تعادل در سیستمها

۳- ترسیم دیاگرامهای لنکر ، برش ، کش و فشار

اصل اول : توضیح سیستمها

۱-۱ : ابتدا تکیه گاهها (گیرهها) را توضیح می دهیم و انواع آن را به نمایش می گذاریم و ارتباط سیستم را با زمین ، و ارتباط اجزا را با هم مورد مطالعه قرار می دهیم . از این طریق سیستمهای معین (ISOSTATICO) و نامعین (IPERSTATICO) را تشریح و از طریق ریاضی تجزیه و تحلیل می کنیم .

۱-۲ : سیستمهای ساده (یک عنوی) را نسبت به تعداد حرکات آن در صفحه

پیچشی و جز آنها) را بدون استفاده از فرمول و معلم به کار می بندد . شاید یکی از اهداف دروس انسان و طبیعت در سالهای اول این باشد که رموز ساختار فیزیکی و روحی انسان را از طریق رابطه با جاذبه زمین مطالعه کند . بهرحال دنیا دنیای معادلات است و تعادل .

آیا به چنین موجودی ، انسان ، باید از دریچه فرمول خشک و بی روح نگاه کرد ، یا تمام فعالیت های روزمره او را با اصول و قواعد علمی و قرار دادی منطبق و یاد آوری کنیم تا این احساس موجود در نهاد انسان و در تاریخ ، پرورده گردد و دانشجوی مالک احساس را آگاه و حساس کنیم .

انسان سبکی را دوست دارد ، بشر پرواز را ستایش می کند ، آرزوی پریدن را در خواب می بیند . همه گویای این است که نسبت به جاذبه زمین عکس العمل نشان می دهد .

به زمین باز می گردیم تا حول فعالیت های رسمی خود در دانشکده معماری سخن بگوییم . همه اعتقاد داریم که در ساختمان قسمتی به نام اسکلت وجود دارد ، که ارتباط مستقیم و پیوسته با کل فضاها را دارا است ، و ایستایی و تعادل ساختمان به عهده آن است . ساختمان باید در مقابل کلیه بارها مقاومت و در رابطه با عکس العمل زمین تعادل ایجاد کند . طراحی این اسکلت یا به عبارت دیگر کانال



مرکز راکفلر : نیویورک (۱۹۳۱-۳۲)



پل گلدن گیت : سانفرانسیسکو (۱۹۳۳-۳۷)



خانه آبشار (۱۹۳۶)

و جای آن را کانالهای ارتباطی نیروها بگیرد ، اسکلت در ساختمان متولد شود و قوسها جای خود را به تیرهای حامل افقی بدهند و به این ترتیب انقلابی در صنعت ساختمان به وجود آید . تبلور این انقلاب را در چند نمونه ساختمان تاریخی میتوان دید . در شیکاگو ساختمانی با اسکلت فلزی توسط شخصی به نام ویلیام بارون جنی (WILLIAM BARON JENNEY) ساخته شد . همچنین ساختمان هفتاد و دو طبقه در مرکز راکفلر در نیویورک در سال ۱۹۳۱-۳۲ با اسکلت فلزی بر پا شد .

پل معلق کابلی گلدن گیت (۱۹۳۳-۳۷) با دهانه هزار و دویست و هفتاد و یک متر معجزه تکنیک را در سانفرانسیسکو به نمایش گذاشت .

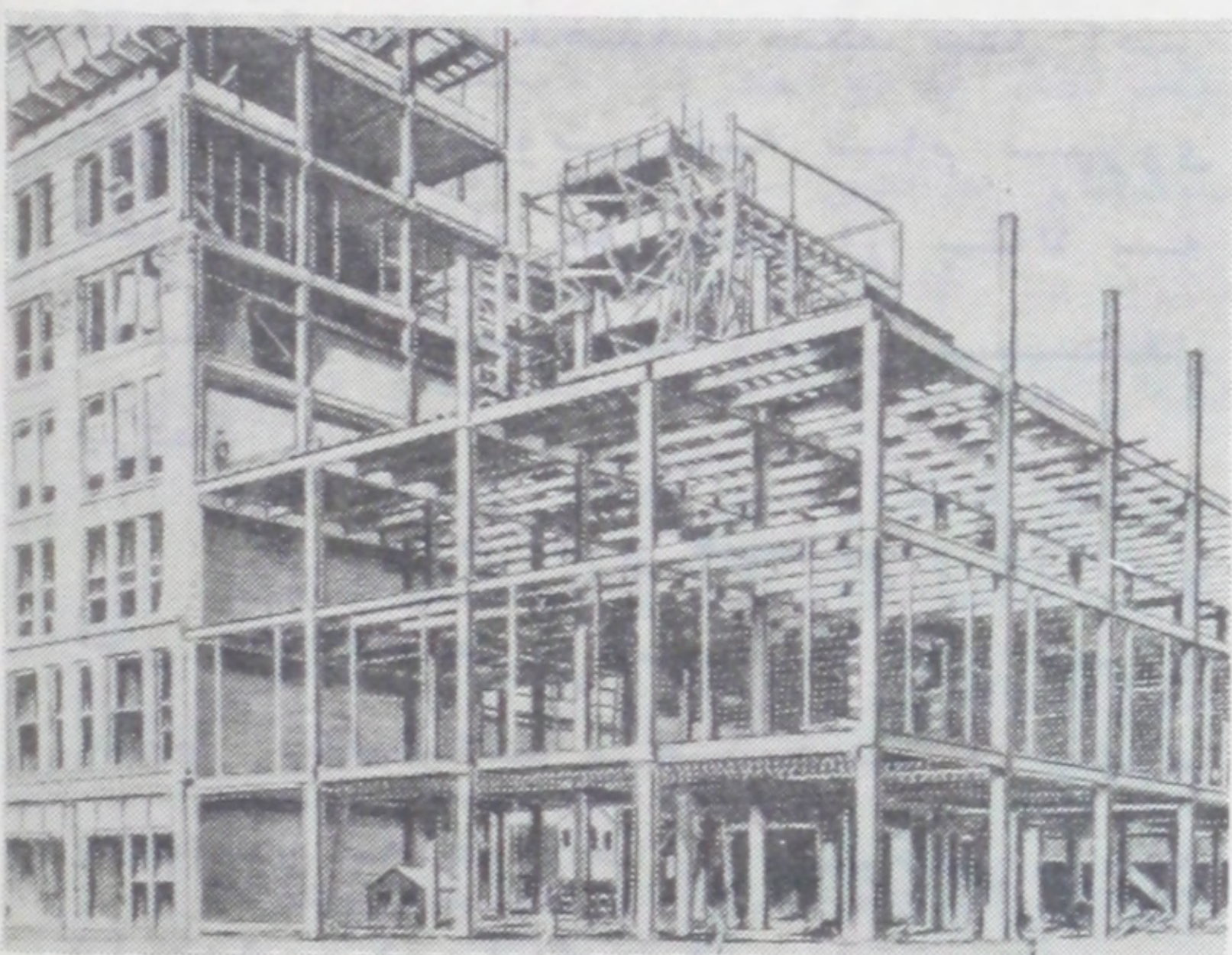
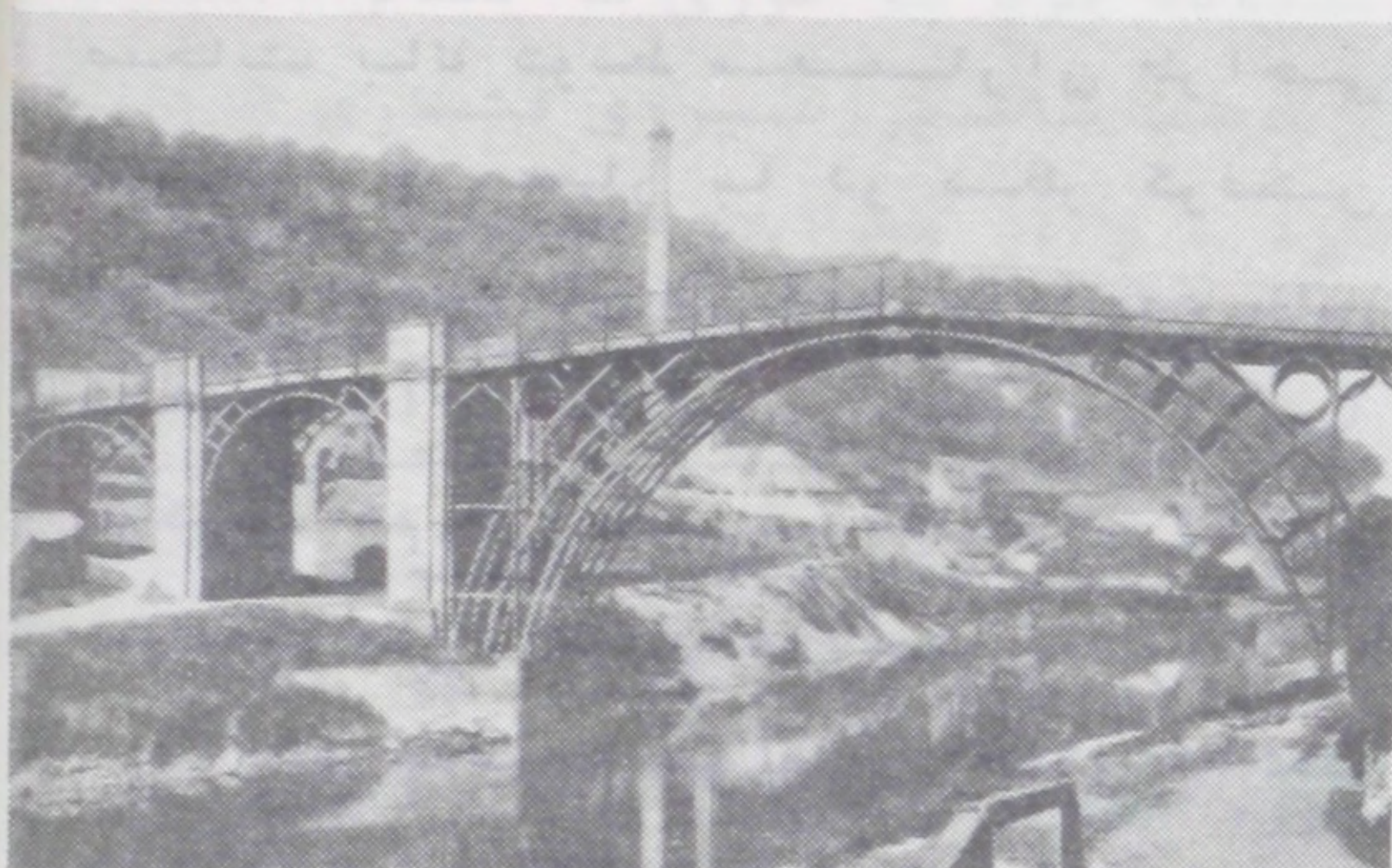
و بالاخره خانه روی آبشار که توسط راییت در سال ۱۹۳۶ از بتن آرسه ساخته شد و کنسول ده متری آن تعجب مردم زمان خود را برانگیخت .

خلاصه با این بازبینی مختصر از تاریخ متوجه میشویم که گرایش معماران و مهندسان ساختمان همیشه این بوده که با حداقل ماده حداکثر فضا را بسازند و تا حد امکان ، ارتباط بنا را با زمین کمتر کنند و در مقابل جاذبه زمین قد علم نمایند .

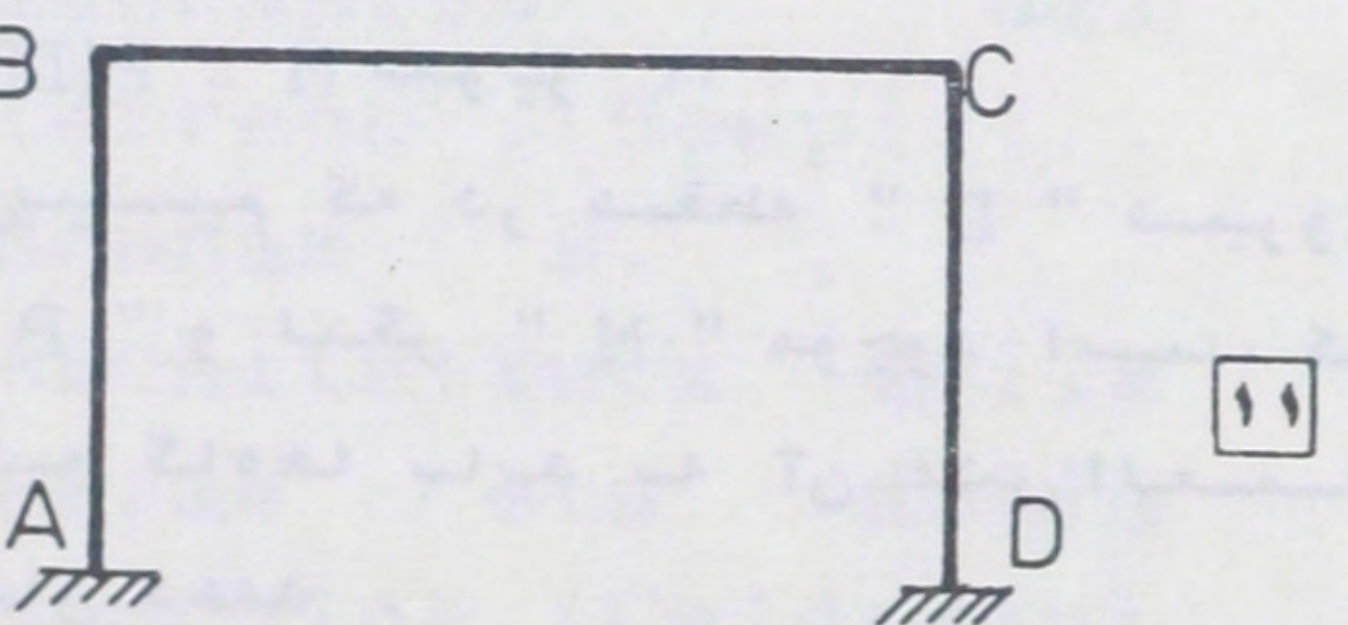
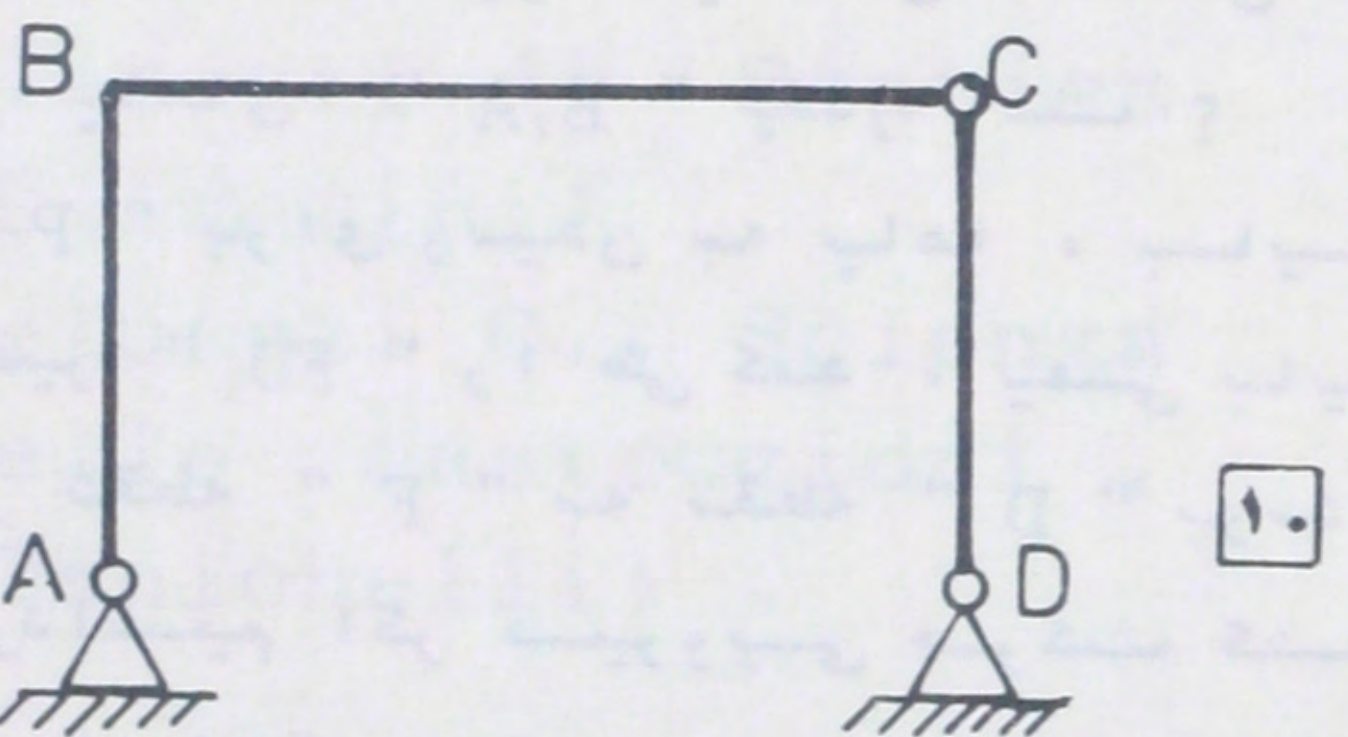
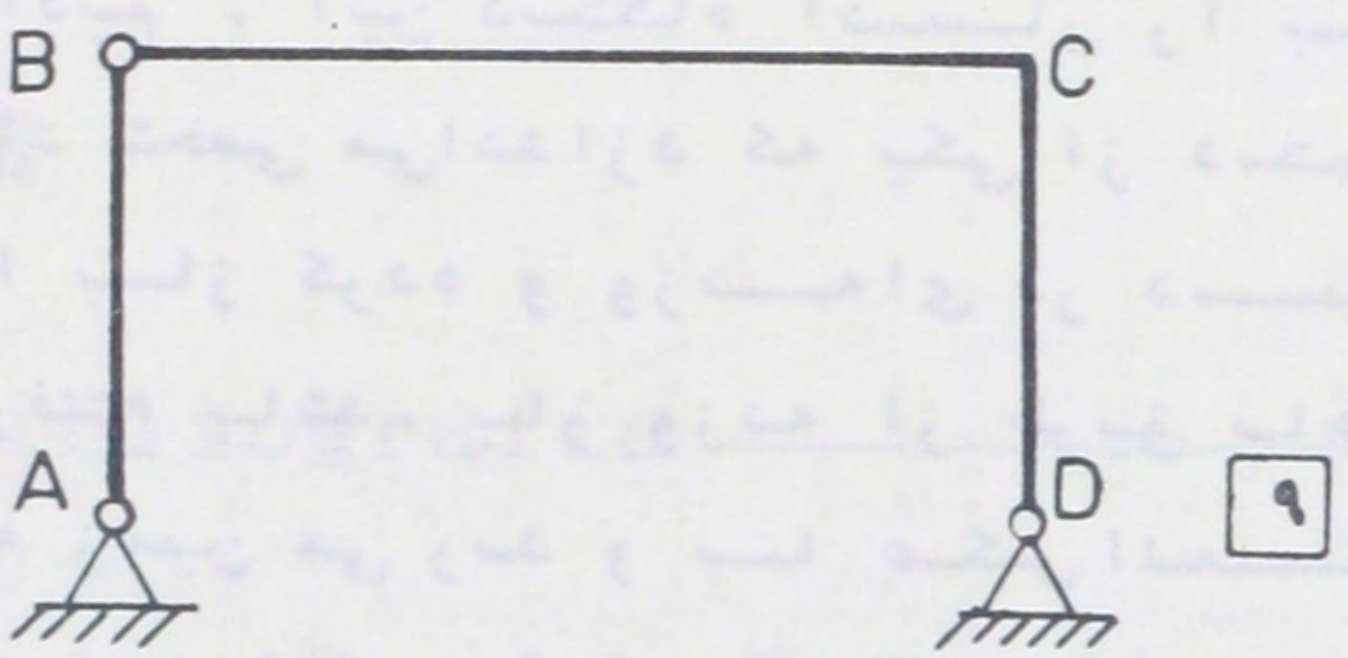
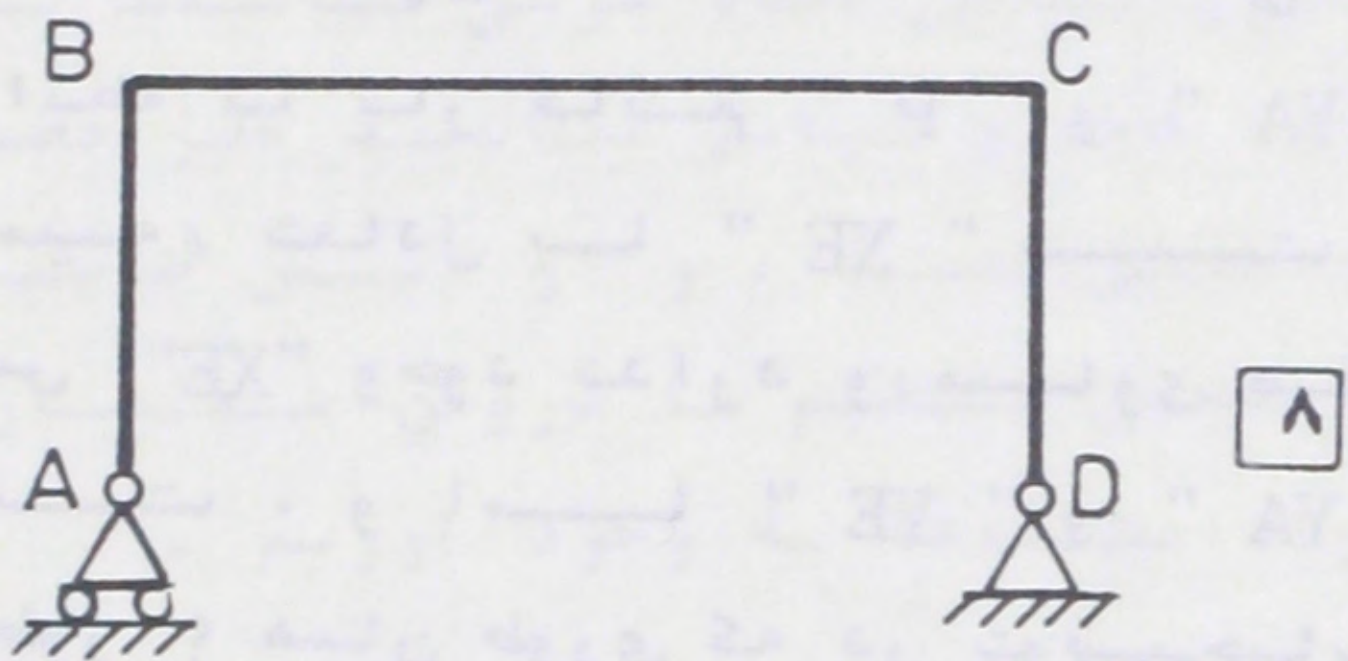
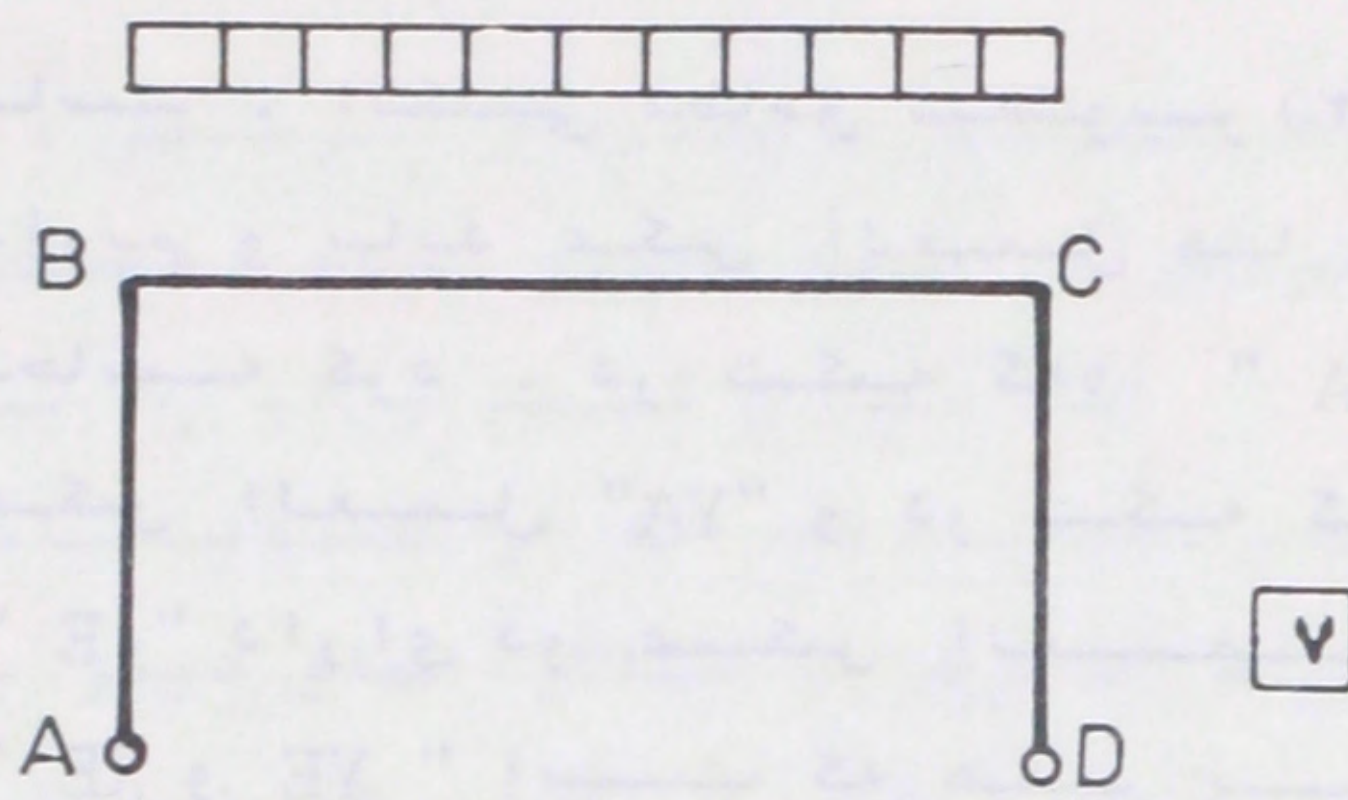
اکنون پس از این مقدمه برگردیم به آموزش سازه در معماری و از اصل تاریخ استفاده کنیم . مثالی میزنیم : کودکی به دنیا میآید و مادر پس از مدتی راه رفتن را که وظیفه طبیعی کودک است با او روزانه تمرین میکند . از آنجا که همه موجودات جاذبه زمین را میشناسند و با این قانون شکل گرفتهاند و تعادل را در خود احساس میکنند لازم نیست که مادر علاوه بر راه رفتن ، دویدن را در برنامههای آموزشی خود نسبت به کودک داشته باشد . این مثل در مورد دانشجو نیز صدق میکند او فقط نیاز به آموزش مقدماتی دارد و بس .

و گر نه دانشجو تمام زمینههای تعادل را خود تجربه کرده و به خوبی آموخته است که اصل بقا ارتباط مستقیمی با تعادل دارد . فیزیک و ریاضیات را چشیده است ، در خوردن و پوشیدن و خرج کردن اصل تعادل را نسل به نسل آموخته است . در دین و مذهب اصل قناعت را در رابطه با تعادل عمل میکند و میبیند که در طبیعت ، خالق با تمام امکانات برای ساختن استخوان به کمترین ماده قناعت میکند و آن را سبک و مقاوم بوجود میآورد . گوش آشنای او به موسیقی و اصوات نمونه بارزی از شناخت او نسبت به فعالیت ذهنی و تعادل وجودی او است . او انواع نیروها و لنگرها (کشش و فشار ، لنگرهای خمشی و

پل فلزی : رودخانه سورن انگلستان (۱۷۷۵-۷۹)



بنای نمایشگاه شیکاگو (۱۸۹۱)



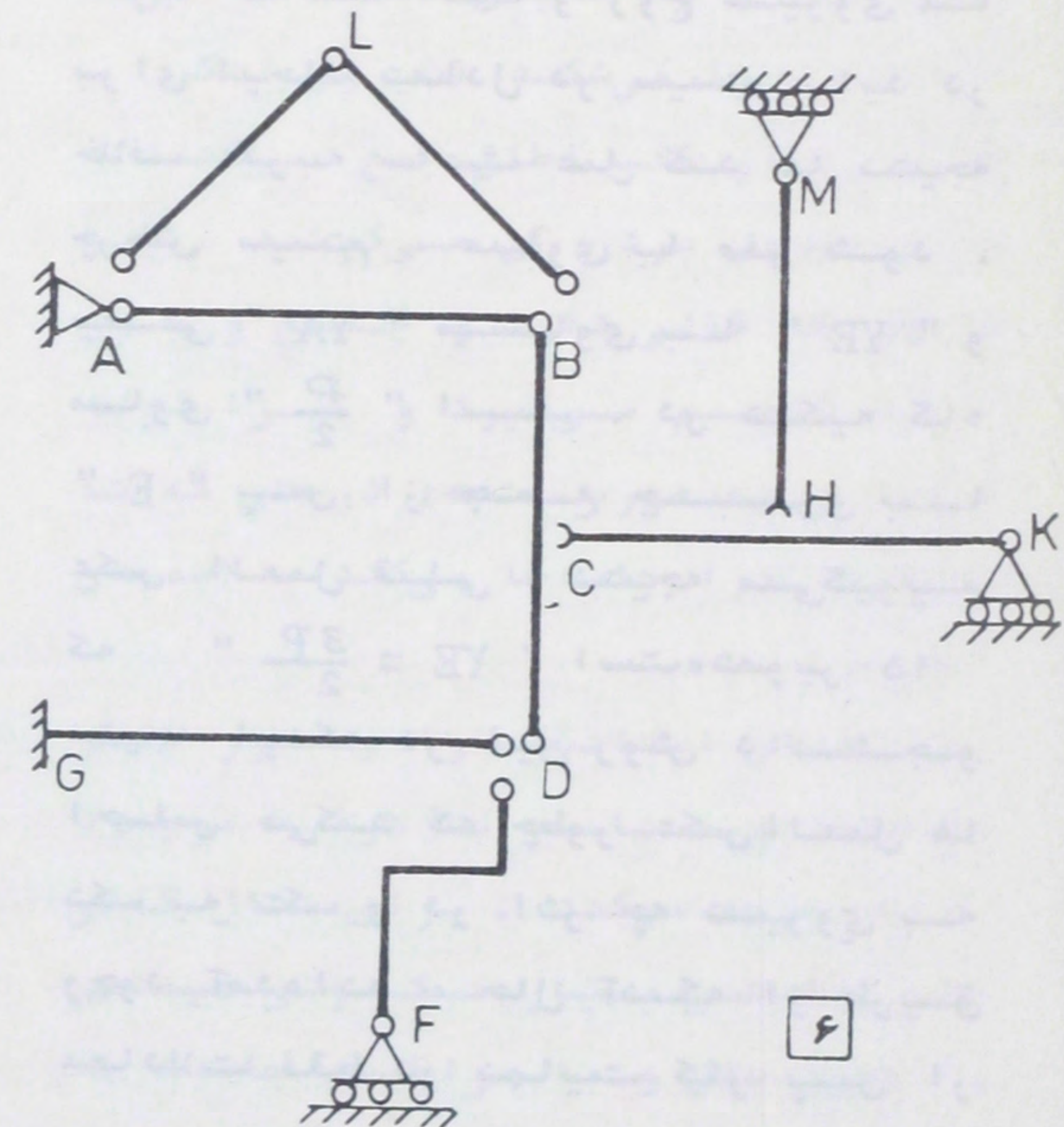
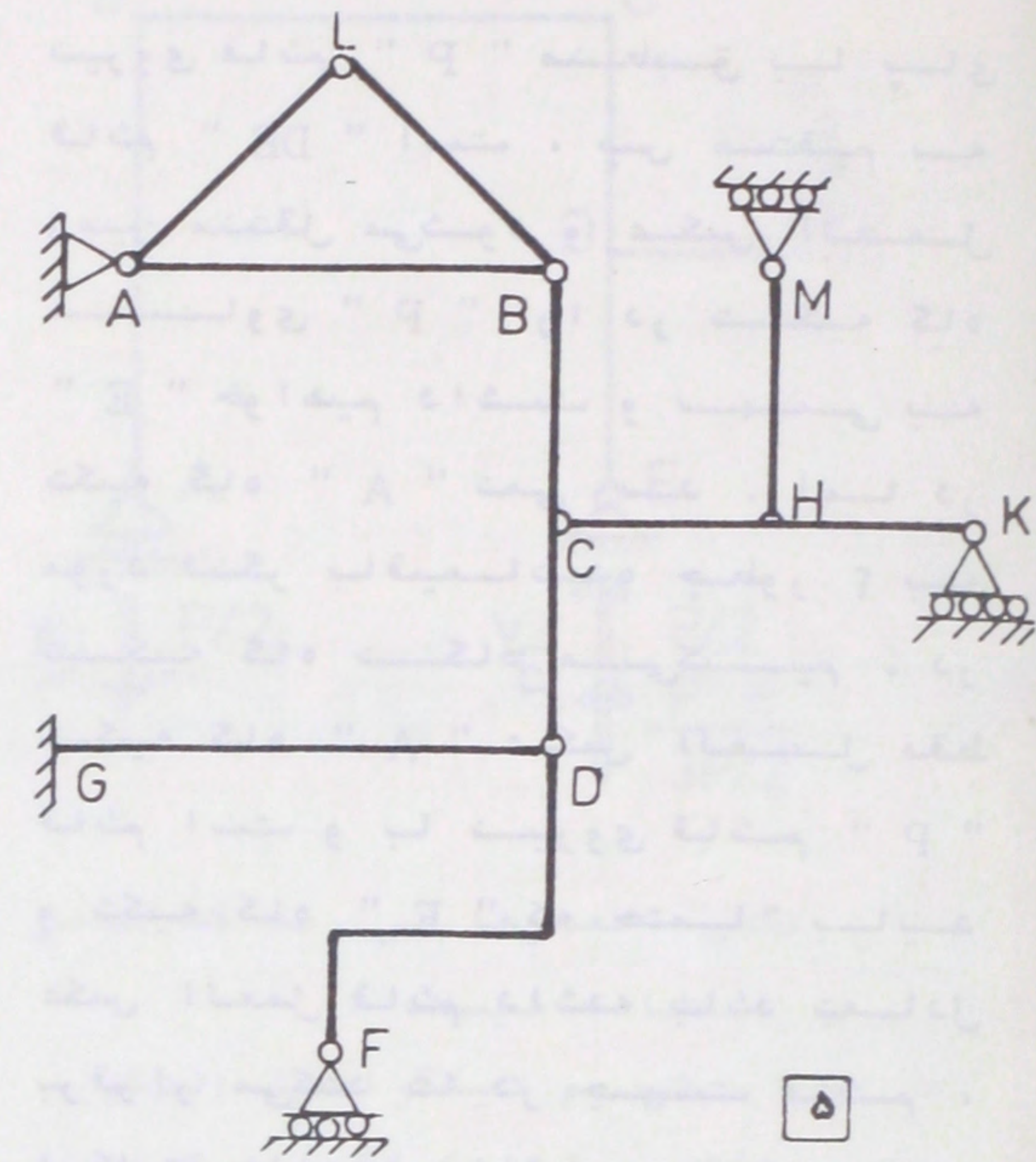
ساخته‌ها از آن استفاده کرد (دو عضوی است) تصویر (۹).

حالت سوم: عکس حالت دوم است، تصویر ۱۰.

حالت چهارم: نقطه B, C مثل حالت اول دارای لنگر است و در نقاط A, D به دلایل لنگر موجود از بالا به پایین متناسب تر است ضمن اینکه سیستم سه دفعه نامعین است. تصویر ۱۱.

با تمرینات بالا دانشجو نسبت به تکیه گاه‌ها و انتخاب ابعاد و تناسبات اسکلت حاکمیت پیدا می‌کند، و خود به جستجو و تمرین می‌پردازد.

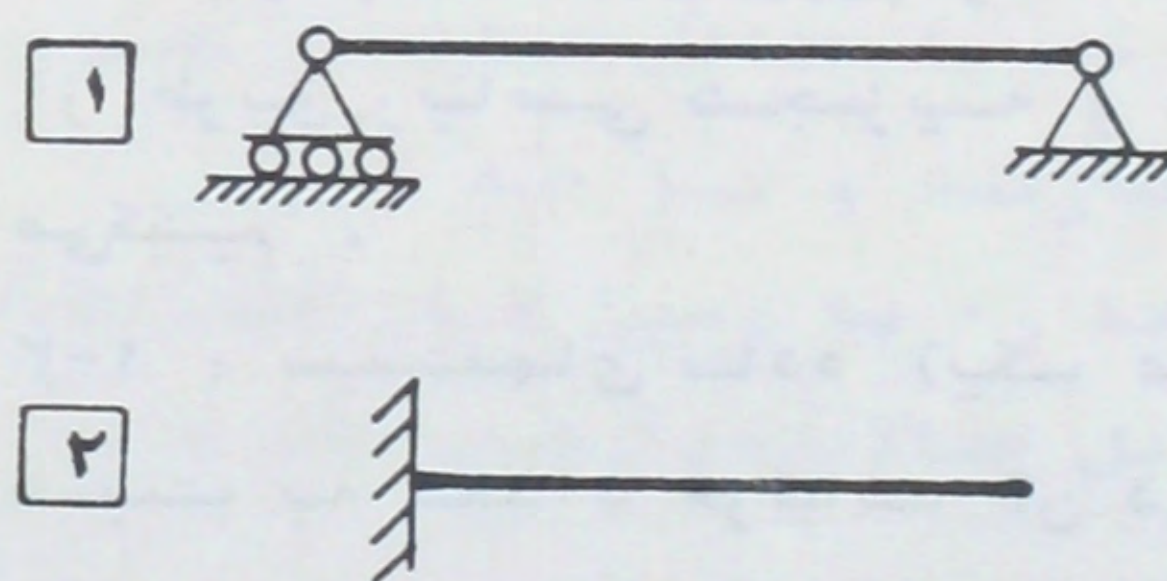
اصل دوم: تعادل در سیستم باید تعادل را در سیستم مطالعه نمود، یعنی نسبت به بار داده شده عکس العملها را محاسبه کرد. روش معمول استفاده از معادلات تعادل است، و دانشجو از طریق محاسبات به نتیجه می‌رسد. ولی او از این طریق جان اسکلت و روح ارتباطی کانالهای نیرویی را احساس نمی‌کند. کار ما آموزش علم محاسبات ساختمان نیست، بلکه از آن بهره برداری می‌کنیم، ما با انسانی در تماسیم که به ماده برش می‌دهد و جان ماده را باید در رابطه با نیروهای وارد بر آن احساس کند. مثالی می‌زنیم، هرچند ممکن است که در خور حوصله غالب خوانندگان نباشد، ولی روشنگر سبک و بیان



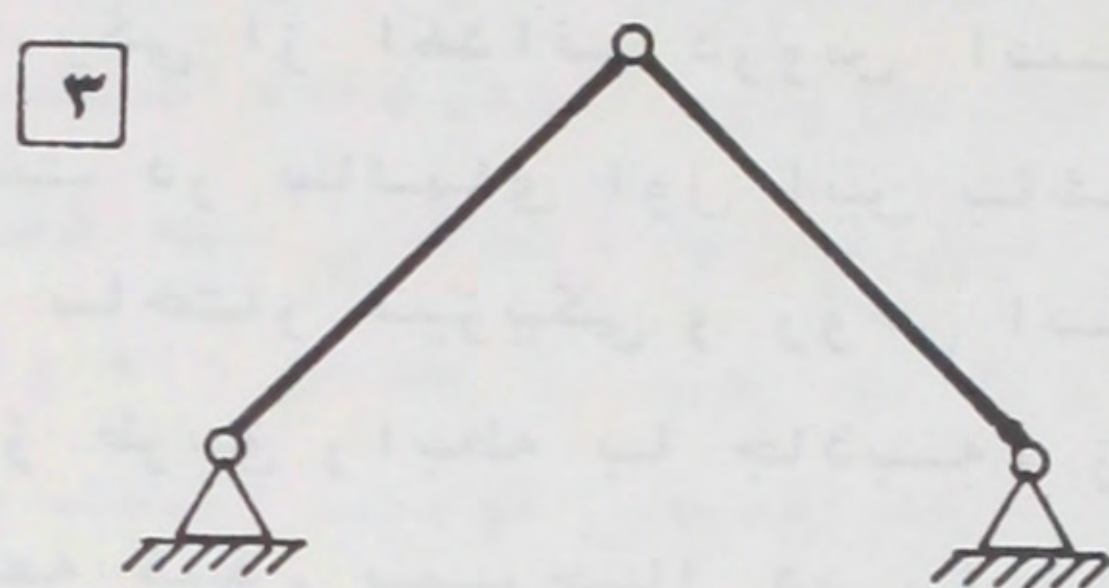
مطالعه و با گیره‌ها از حرکات آن جلوگیری می‌کنیم . با بارگذاری ، عکس العملها را حتی المقدور از طریق احساسی به دست می‌آوریم ، با اشکال مختلف و بارهای متفاوت ، از طریق استاتیک ترسیمی به استاتیک حسی می‌رسیم و تمرین می‌کنیم ، و گاهی اوقات از طریق معادلات اصلی تعادل را چک می‌نماییم .

۱-۳ : سیستم‌های مرکب (چند عضوی) ابتدا ساده‌ترین را که قوس سه مفصلی و دو عضوی است ، توضیح می‌دهیم ، در این تمرین از مفاصل (گیره‌های داخلی) صحبت می‌شود و نقش و درجات گیرداری آن از طریق فرمولها بیان می‌گردد . سعی می‌کنیم از دو سیستم ساده بالا (تیر ، ستون ، کنسول) با قوسهای سه مفصلی ترکیب های جدیدی پیدا کنیم ، و از طریق نوع ارتباط و تعداد نقاط ارتباطی برای تجزیه دوباره سیستم آماده شویم و از این طریق به معین و یا نامعین بودن سیستم ، بدون شمارش اعضا ، پی ببریم. تصویر ۱ تا ۴ مجموعه سیستمهای مختلف از ساده تا مرکب را نشان می‌دهد .

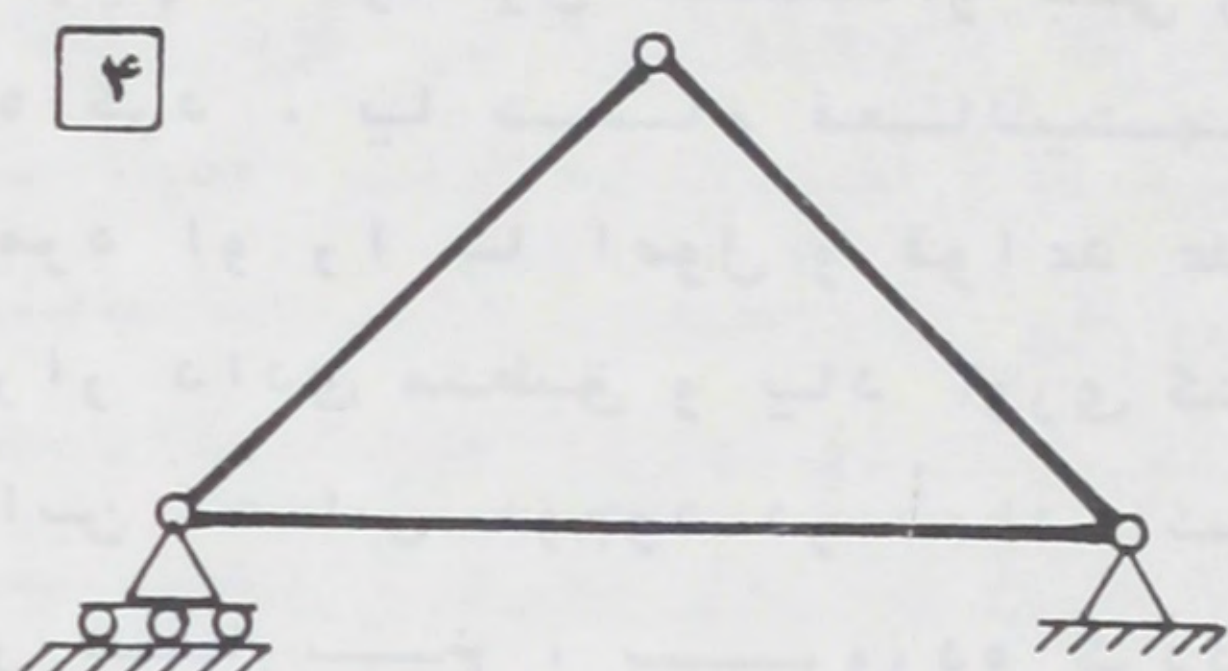
۱- سیستمهای ساده معین یک عضوی .



۲- سیستمهای مرکب معین دو عضوی .



۳- سیستمهای مرکب معین سه عضوی .



سیستمهای تصویر ۱ تا ۴ را که عملاً در ساختمان بناها و پلها مورد استفاده دارند ، مرتباً با بارگذاریهای مختلف تمرین و عکس العملها را پیدا می‌کنیم . از این به بعد به مسائل پیچیده ترسیمی می‌رسیم ، که در ظاهر گنگ و وقت گیر هستند و احساس می‌شود که با معادلات چند مجهولی باید به مقدار عکس العملها رسید ، ولی از طریقی که توضیح می‌دهیم ، سریع تر به نتیجه خواهیم رسید .

می‌بینیم که سیستم مرکب تصویر ۵ قابل تجزیه به سیستمهای ساده معین است که یکی پس از دیگری روی هم سوار و به زمین وصلاند ، و از میان آنها فقط کنسول " GD " است که تکیه گاه کامل دارد و بقیه اعضا

شناخته شده مطابق الگوهای ساده تصاویر ۶ معین و به زمین و به هم متصلند . پس مجموع سیستمهای معین ساده سیستم مرکبی را به وجود آورده‌اند که خود طبیعتاً معین است . می‌بینیم که تکیه گاههای ما هشت عکس العمل مجهول دارند که باید با نوشتن هشت معادله ، مجهولات را به دست آورد ، و این راه کوتاهی نیست . در صورتی که از طریق پیشنهادی ، با بارگذاری روی سیستم وظایف تکیه گاهها و عکس العمل آنها براحتی مشخص و معلوم است ، و نهایتاً ، در صورت استفاده از معادلات اصلی یعنی $x = 0$ ، $y = 0$ ، $z = 0$ معادلات کمکی در نقاط H, D, C, B, D که ممان صفر دارند می‌توانند به سبب مورد استفاده قرار گیرند .

با این روش دانشجو خود به دلایل طراحی ، انتخاب گیره کرده و به تناسبات مورد لزوم می‌رسد . مثال : قابی داریم که مورد لزوم طراح است (تصویر ۷) حال ببینیم با استفاده از گیره‌های مختلف و تغییر آنها در یک سیستم معین چطور ابعاد قاب متغیر می‌شود .

حالت اول : نقاط B, C با داشتن لنگر ، ابعاد بزرگتری دارند و تیر B, C نازکتر است. تصویر ۸ حالت دوم : در مفصل B لنگر صفر و تیر B, C از B" به C" چاقتر می‌شود ، و عضو A, B در طول محور به یک اندازه است و می‌توان در پیش

ماگزیمها و ترسیم آن برسیم ، و بکوشیم از طریق تمرین زیاد دانشجو را از شک خارج کنیم و او را به قسمی عادت دهیم که از تناسبات ارزشی لنگرها و دیاگرامهای دیگر به تناسبات واقعی و اصلی در نما و پلان برسد . از تناسبات کاذب و پرخرج و غیر اقتصادی پرهیز کند و همچون خیاطی آگاه برشی مناسب به ماده دهد و لباسی مناسب هر فضا طراحی کند ، و از این طریق رابطه ای مستقیم با دروس معماری در دانشکده ها به وجود آوریم .

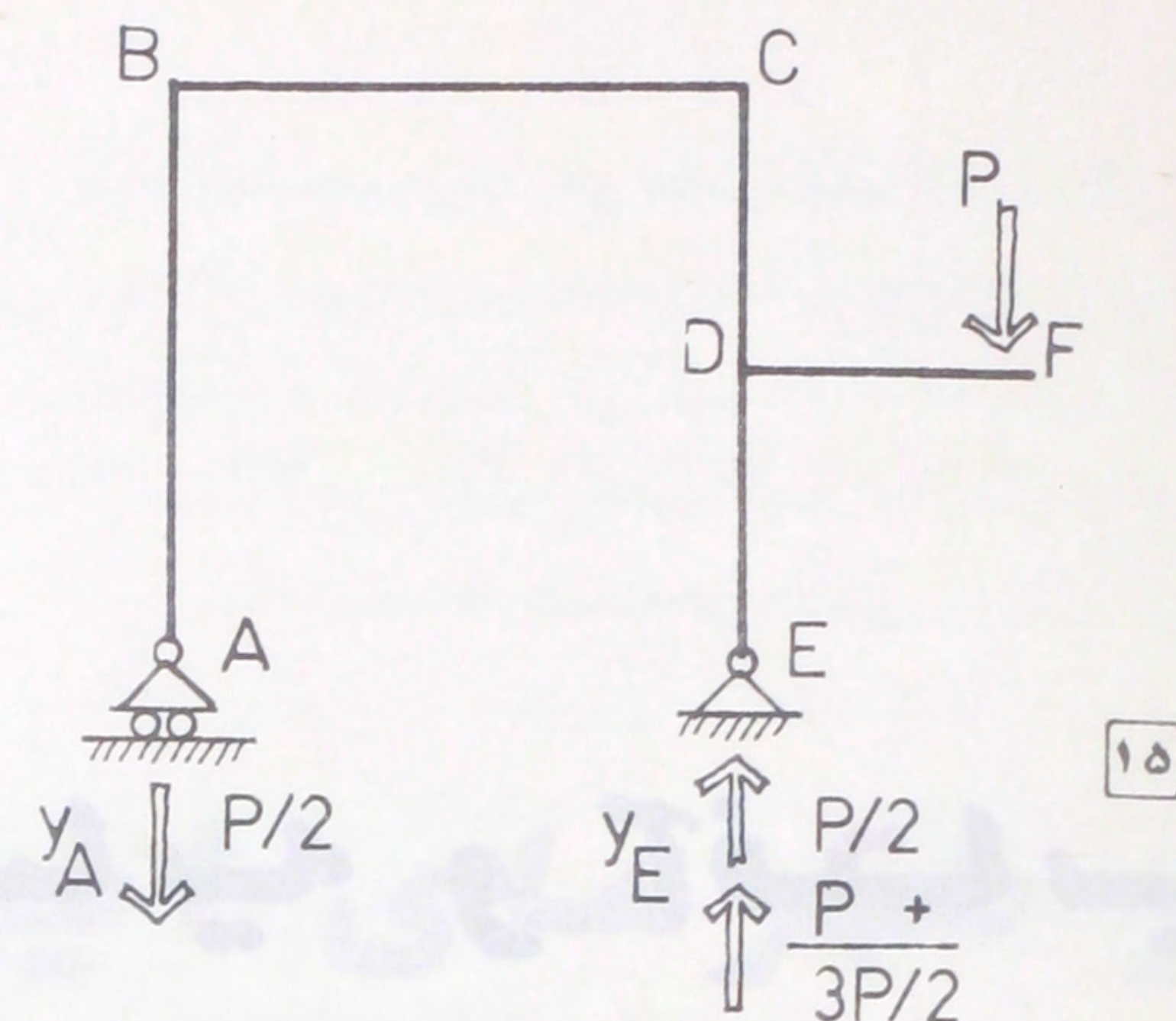
Bibliografia

Fois D. , Corsodi costruzioni, Vol , I Elementi di Statica (Calderini)
Belulzzi O., Scienza delle castruzioni , (Zanichelli) .

Cestelli Guidi , La meccanica del terreno , (Hoepli) .
Banham R. , Architettura della Prima eta della macchina, (Calderini)

العمل نسبت به جاذبه فراتر از علم استاتیک می رود . به طور کلی طبیعت پایه های بسیار محکمی را در مغز و نهاد او استوار کرده است . سالهاست که مهندسان محاسبات از جدولهایی برای محاسبات لنگر ماگزیم استفاده می کنند و این روش در دانشکده های معماری هم ادامه دارد . شاگرد از طریق جدولها به نمره تیر آهن می رسد و بسیار خوشحال و ممنون می شود ، در صورتی که اشاره کردیم که برای آموزش معمار باید به احساس او توجه داشت تا با آموزش و تمرین مناسب پرورده شود . فرمولهای خشک نباید برای کشف و خلق اثر سدی بوجود آورد . باید فرمولها را در اختیار بگیریم ، نه اینکه خود را در اختیار فرمولها قرار دهیم . به عنوان مثال فرمول $\sigma = \gamma \frac{M}{I_x}$ تنشهای داخلی هر عضو را در رابطه با لنگر وارد بر آن نشان می دهد ، در مخرج کسر ممان اینرسی را داریم که با کوچک یا بزرگ شدن آن σ که تنش است تغییر می کند و با توجه به این نکته می توان فهمید که چگونه برای بزرگ کردن مخرج یعنی تناسبات یک مقطع به نفع خود ذهن طراح به خریاها و یا تیرهای لانه زنبوری می رسد .

لذا پیشنهاد می کنیم :
۱-۳ دیاگرامهای لنگر و تلاش برش را از طریق انتگرالها و رابطه بین بار و تلاش برشی و ممان با



مقدار عکس العملها می رسد که قابل درک و استفاده نیست .

اصل سوم : ترسیم دیاگرامها (لنگر ، برش ، کشش و فشار) اشاره کردیم که انسان از کودکی طبیعتاً انواع نیروها را حس می کند ، مثلاً " برای شکستن شاخه ای دو سر آن را به دست می گیرد و کنده زانو را بالا می آورد و با استفاده از آن به عنوان تکیه گاه و با کشیدن دست به طرف خود چوب را می شکند (نیروی لنگر) . قالی را از کف اطاق جمع می کند و برای بیرون بردن آن می کوشد . با شکلی که قالی دارد و جمع و جور نیست تصمیم می گیرد و آنرا لوله می کند و به صورت تنه درختی که تا نمی شود آنرا جابه جا می کند ، (ممان اینرسی) .

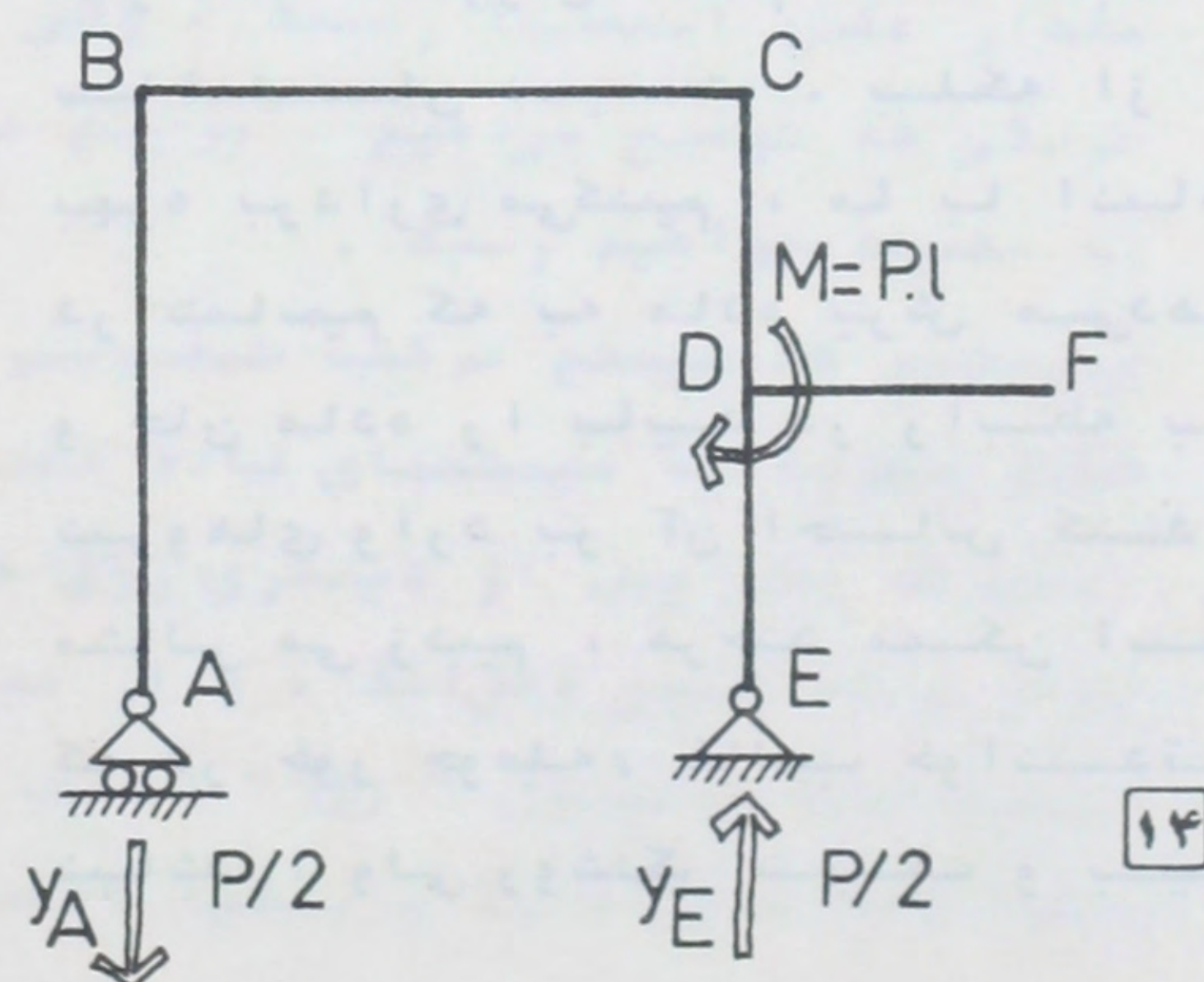
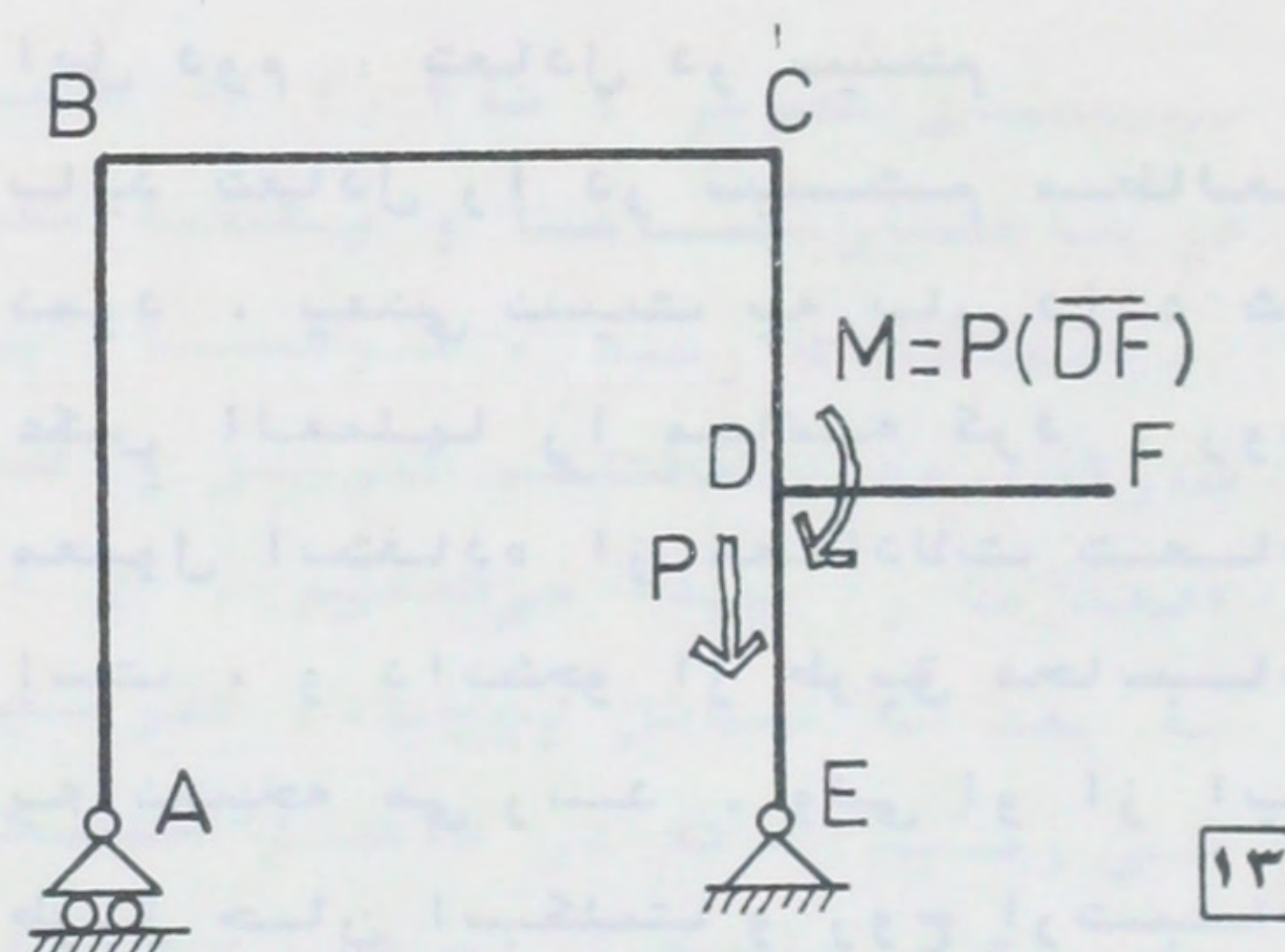
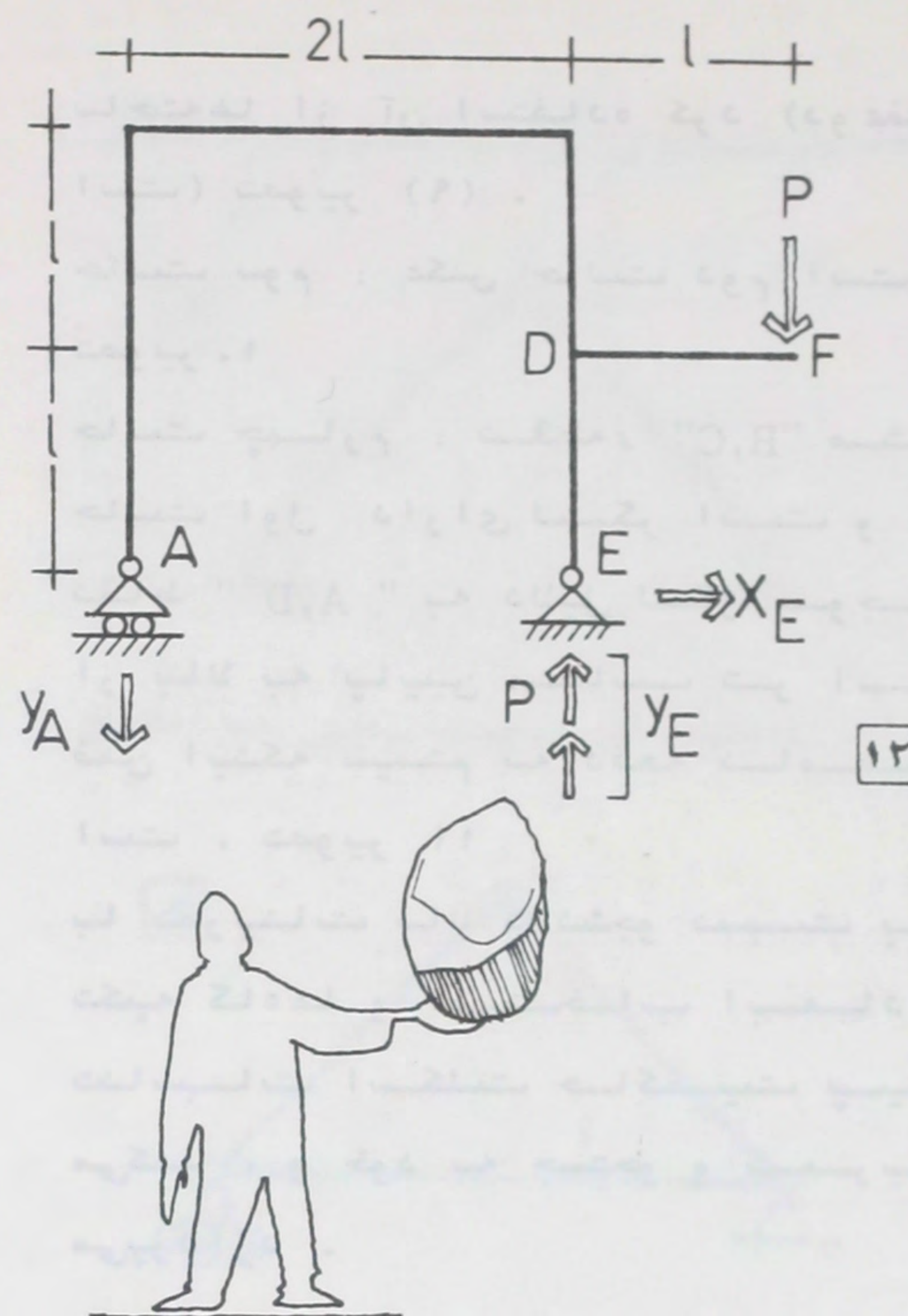
پس انسان استاتیک را به طور حسی می شناسد و متناسب با شرایط موجود به آن توجه می کند . برای مثال گاهی جنس شکستنی بسیار سبک ولی قیمتی را طوری بغل و با مواظبت جا به جا می کند که یقیناً " نوع تعادل و عکس

نیروی قائم "P" منطبق با پای قائم "DE" است، پس مستقیم به زمین منتقل می‌شود و عکس العمل مساوی "P" را در تکیه گاه "E" خواهیم داشت و سهمی به تکیه گاه "A" نمی‌رسد. اما در مورد لنگر باقیمانده چطور؟ به تکیه گاه نگاه می‌کنیم. در تکیه گاه "A" عکس العمل فقط قائم است و با نیروی قائم "P" و تکیه گاه "E" که حتماً باید عکس العمل قائم داشته باشد تعادل برقرار می‌کند تا در جهت قائم، اسکلت جابه‌جا نشود.

نتیجه می‌گیریم که لنگر "M" در سیستم باید تبدیل به زوج نیرویی گردد که فاصله آن "2l" است. تصویر ۱۴

در تصویر ۱۴ لنگر "M" در جهت عقربه ساعت است و زوج نیروی ما برای ایجاد تعادل در سیستم باید در خلاف عقربه ساعت عمل کند تا نتیجه چرخش سیستم، مساوی با صفر شود. یعنی "YA" مساوی با "YE" و مساوی "P/2" است. در تکیه گاه "E" پس از جمع جبری با عکس العمل قبلی، نتیجه می‌گیریم که $YE = \frac{3P}{2}$ است. تصویر ۱۵

نتیجه اینکه در این روش دانشجو احساس می‌کند که چطور عکس العمل‌ها تک به تک و در اثر چه نیرویی به وجود آمده‌اند، حال آنکه از طریق معادلات فقط در نهایت کار پس از جمع و تفریق و ضرب و تقسیم به



ماست. اسکلتی مطابق تصویر (۱۲) داریم و باید عکس العمل‌ها را محاسبه کرد. در تکیه گاه "A" عکس العمل "YA" و در تکیه گاه "E" دارای دو عکس العمل "XE" و "YE" است که هر سه مجهولند. دقت کنید، با نگاهی به صورت مسئله فوری حکم می‌کنیم که "XE" مساوی صفر است، یعنی در رابطه با بار قائم "P" و "YA" زمینه تعادل با "XE" نیست، پس "XE" وجود ندارد و مساوی صفر است، و اما "YE" و "YA" چطور؟ همان طوری که در توضیحات اهمیت تعادل احساسی را توضیح دادیم. این دستگاه انسان را به یاد شخصی می‌اندازد که یکی از دست‌ها را باز کرده و وزنه‌ای در دست گرفته باشد. بار وزنه از طریق پاها به زمین می‌رسد و با عکس العمل زمین تعادل برقرار می‌شود. مقدار آن نسبت به وزنه و عکس العمل آن در پاهای "E, A" چقدر است؟

"P" برای رسیدن به پاها، باید مسیر "FD" را طی کند، یعنی باید از نقطه "F" به نقطه "D" برسد. می‌دانیم اگر نیرویی حرکت کند ایجاد لنگر می‌کند، یعنی نیرو ضربدر مقدار جابه‌جایی و در نتیجه $M = P(DF)$ تصویر ۱۳

می‌بینیم که در نقطه "D" نیروی "P" و لنگر "M" موجود است که تکیه گاه‌ها باید به آن عکس العمل نشان دهند.